

PIEZOELECTRIC MULTI-LAYER ACTUATOR WITH CERAMIC INNER ELECTRODESPatent Number: ☐ WO0131713

Publication date: 2001-05-03

Inventor(s): HAMMER MARIANNE (DE); SCHULTE THOMAS (DE); LINDNER FRIEDERIKE (DE)

Applicant(s):: BOSCH GMBH ROBERT (DE); HAMMER MARIANNE (DE); SCHULTE THOMAS (DE); LINDNER FRIEDERIKE (DE)

Requested Patent: ☐ DE19951016

Application Number: WO2000DE03546 20001010

Priority Number (s): DE19991051016 19991022

IPC Classification: H01L41/083 ; H01L41/047

EC Classification: H01L41/047, H01L41/083

Equivalents:

Abstract

The invention relates to a piezoelectric ceramic body (5), especially a piezoelectric ceramic actuator, comprising a plurality of insulating layers (12) with a ceramic material positioned on top of each other. These insulating layers (12) are separated from each other by inner electrodes (13, 14) respectively, at least in areas. Said inner electrodes (13, 14) contain a mixed conductive material, especially a perovskitic or fluorite-based ceramic material.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 51 016 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
H 01 L 41/187
H 01 L 41/083

⑳ Aktenzeichen: 199 51 016.4
㉔ Anmeldetag: 22. 10. 1999
㉕ Offenlegungstag: 31. 5. 2001

DE 199 51 016 A 1

⑦① Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:
Schulte, Thomas, 70376 Stuttgart, DE; Hammer,
Marianne, Dr., 70563 Stuttgart, DE; Lindner,
Friederike, Dr., 70839 Gerlingen, DE

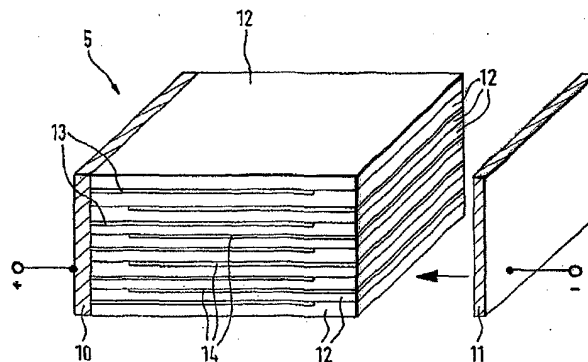
⑤⑥ Entgegenhaltungen:
DE 44 43 365 A1
JP 06-2 27 852 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Piezoelektrischer Keramikkörper

⑤⑦ Es wird ein piezoelektrischer Keramikkörper (5), insbesondere ein piezoelektrischer keramischer Aktor, mit einer Mehrzahl von übereinander angeordneten Isolierschichten (12) mit einem piezoaktiven keramischen Material vorgeschlagen, wobei die Isolierschichten (12) voneinander jeweils zumindest bereichsweise durch Innenelektroden (13, 14) getrennt sind. Die Innenelektroden (13, 14) enthalten dabei ein gemischtleitendes Material, insbesondere ein perowskitisches oder fluoritbasiertes keramisches Material.



DE 199 51 016 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Keramikkörper, insbesondere einen piezoelektrischen keramischen Aktor, nach der Gattung des Hauptanspruches.

Stand der Technik

Keramische Piezoaktoren, die aus einer Vielzahl von dünnen keramischen, piezoaktiven Schichten bestehen, die jeweils über eine Innenelektroden-schicht voneinander getrennt und darüber elektrisch kontaktierbar und ansteuerbar sind, sind vielfach bekannt. Dazu sei beispielsweise auf K. Ruschmeyer, "Piezokeramik: Grundlagen, Werkstoff, Applikationen", expert-Verlag, Renningen, 1995, verwiesen.

Bekannte Piezoaktoren bestehen beispielsweise im wesentlichen aus einer PZT-Keramik, d. h. $\text{Pb}(\text{Ti}_x\text{Zr}_y)\text{O}_3$ mit $0,40 < x < 0,60$, in Form einer Vielzahl von zusammengesetzten, keramischen, piezoaktiven Schichten aus dieser PZT-Keramik, die über dazwischen angebrachte Innenelektroden elektrisch in definierter Weise ansteuerbar sind, und bei Anlegen einer äußeren Spannung über den umgekehrten Piezoeffekt (Elektrostriktion) eine mechanische Dehnung oder Stauchung erfahren.

Da derartige PZT-Keramiken je nach Dotierung und Herstellungsverfahren bei Temperaturen von 1000°C bis 1200°C und unter oxidierenden Bedingungen gesintert werden müssen, sind bisher als Materialien für die Innenelektroden lediglich metallische Legierungen wie Ag/Pd-Legierungen bekannt. Dazu sei beispielsweise auf A. C. Caballero et al., J. Mat. Sci., 32, 3257-3262, (1997), verwiesen.

Diese Materialien für die Innenelektroden stellen einen Kompromiß zwischen elektrischer Leitfähigkeit, Materialkosten, Sintertemperatur, Sinteratmosphäre und angepaßtem thermischen Ausdehnungsverhalten dar. Dennoch sind die Materialkosten für die Innenelektroden trotz einer typischen Dicke von lediglich ca. $1\text{ }\mu\text{m}$ bis $3\text{ }\mu\text{m}$ aufgrund der hohen Anzahl von Innenelektroden von typischerweise mehr als 500 immer noch beträchtlich. Sie erreichen derzeit im Fall von der Ag/Pd-Legierung Werte von 6800 DM pro Kilogramm Elektrodenmaterial.

Vorteile der Erfindung

Der erfindungsgemäße piezoelektrische Keramikkörper hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, daß damit eine deutliche Verringerung der Materialkosten für das verwendete Elektrodenmaterial der Innenelektroden erreicht wird. Damit können durch den erfindungsgemäßen Einsatz gemischtleitender Materialien beispielsweise die Herstellungskosten für Piezoaktoren deutlich gesenkt werden.

Unter einem gemischtleitenden Material wird dabei im übrigen entsprechend dem allgemeinen Sprachgebrauch ein Material verstanden, das sowohl eine gute elektronische Leitfähigkeit als auch eine Ionenleitfähigkeit aufweist.

Gleichzeitig ermöglichen die zahlreichen potentiellen Materialkombinationen und Dotierungen der Innenelektrodenmaterialien eine optimale Anpassung der jeweiligen Innenelektrodenmaterialien an die benachbarten Isolierschichten mit dem eigentlichen keramischen, piezoaktiven Material. Diese Anpassung an die keramischen, piezoaktiven Schichten, d. h. insbesondere die PZT-Trägerfolien, erfolgt dabei vorteilhaft sowohl hinsichtlich der thermischen Ausdehnung als auch der Sintertemperatur des Elektrodenmaterials.

Der Fachmann hat somit vorteilhaft die Möglichkeit, aus zahlreichen, preiswerten Materialien als Innenelektrodenmaterialien auswählen zu können, wobei im Einzelfall die

Kriterien für das jeweils am besten geeignete Material, neben den Kosten, vor allem die Sintertemperatur der piezoaktiven Keramik, die möglichst gute elektrische Leitfähigkeit des Elektrodenmaterials der Innenelektroden im betreffenden Temperaturbereich und die Phasenstabilität des Innenelektrodenmaterials und des piezoaktiven Materials beim gemeinsamen Sintern zu dem Keramikkörper durch einen Cofiring-Prozeß sind. Unter Phasenstabilität wird dabei verstanden, daß beim Sintern keine Phasenumwandlung des Materials der Innenelektroden und/oder des Materials der Isolierschichten auftritt.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

So enthält das Material der Innenelektroden vorteilhaft eine perowskitische oder fluorit-basierte Keramik, da diese Materialien bei geeigneter Auswahl über eine hohe elektronische und ionische Leitfähigkeit verfügen und auch bei tiefen Temperaturen von unter 100°C bereits eine für die Anwendung ausreichende Leitfähigkeit aufweisen. Überdies ist die Synthese und Handhabung derartiger Materialien sehr einfach und preiswert. Weiter liegen die erforderlichen Sintertemperaturen für derartige keramische Gemischtleiter im Bereich zwischen 1000°C und 1200°C , d. h. sie sind hervorragend an PZT-Keramiken angepaßt. Überdies sind sie vielfach phasenstabil gegenüber PZT-Keramik.

Zeichnung

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnung und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt die Figur einen piezoelektrischen Keramikkörper in Form eines piezokeramischen Aktors aus einer Schichtfolge von piezoaktiven Isolierschichten und Innenelektroden-schichten.

Ausführungsbeispiele

Die Figur zeigt einen an sich bekannten Aufbau eines piezoelektrischen Keramikkörpers 5 in Form eines Quaders mit einer Vielzahl von Isolierschichten 12 aus einer an sich bekannten, piezoaktiven PZT-Keramik, die über Innenelektroden 13, 14 in Form von dünnen Schichten bereichsweise jeweils voneinander getrennt sind. Die PZT-Keramik hat beispielsweise die Zusammensetzung $\text{Pb}(\text{Ti}_x\text{Zr}_y)\text{O}_3$ mit $0,40 < x < 0,60$. Die Dicke der Isolierschichten 12 beträgt beispielsweise $50\text{ }\mu\text{m}$ bis $130\text{ }\mu\text{m}$ bei einer typischen Anzahl von 300 bis 600; die Dicke der Innenelektroden 13, 14 beträgt liegt bevorzugt zwischen 500 nm und $5\text{ }\mu\text{m}$, insbesondere bei $1\text{ }\mu\text{m}$ bis $2\text{ }\mu\text{m}$.

Die Stirnseiten des Keramikkörpers 5 sind weiter durch zwei gegenüberliegende, beispielsweise metallische, ganzflächig aufgebrachte Außenelektroden 10, 11 in an sich bekannter Weise kontaktiert, wobei die erste Außenelektrode 10 an der zugeordneten Stirnseite des Quaders die ersten Innenelektroden 13 kontaktiert und die zweite Außenelektrode 11 an der zugeordneten Stirnseite des Quaders die zweiten Innenelektroden 14 kontaktiert. Über die Außenelektroden 10, 11 sind die Innenelektroden 13, 14 mit einer Feldstärke beaufschlagbar, die typischerweise zwischen 1 kV/mm und 3 kV/mm liegt, und in dem Keramikkörper 5 über den umgekehrten piezoelektrischen Effekt (Elektrostriktion) zu einer Dehnung oder Stauchung der Isolierschichten 12 in Richtung der Flächennormalen der Isolierschichten 12 führt. Die Innenelektroden 13, 14 bilden somit die Platten eines Plattenkondensators mit den Isolierschichten 12 als Dielektrikum.

Weiter bestehen die Innenelektroden 13, 14 jeweils aus einem gemischtleitenden keramischen Material. Als beson-

ders geeignet hat sich im Fall einer PZT-Keramik als Material der Isolierschichten 12 für das Material der Innenelektroden 13, 14 SrFeCo_{0,5}O_x herausgestellt, da dieses Material oberhalb von 25°C eine ausreichende Leitfähigkeit aufweist und seine Sintertemperatur zwischen 1000°C und 1200°C liegt, d. h. auf die Sintertemperatur der PZT-Keramik angepaßt ist.

Alternativ kommt anstelle von SrFeCo_{0,5}O_x für das Material der Innenelektroden 13, 14 jedoch auch das gemischtleitende keramische Material La_{1-x}Sr_xCo_{1-y}Cu_yO_{3-d} mit 0 < x < 1 und 0 < y < 1 in Frage.

Weiterhin sind auch perowskitische oder fluorit-basierte Materialien wie La_{1-x}Ca_xCoO_{3-δ}, SrCeO₃, LaCr_{1-x}Mg_xO₃, La_{1-x}Sr_xMnO₃ oder LaNi_{1-x}Ca_xO₃ besonders geeignet.

Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl geeigneter, insbesondere keramischer Gemischtleiter ist deren möglichst geringer spezifischer elektrischer Widerstand, der im Fall von Pt als Elektrodenmaterial bei Raumtemperatur bei 10,6 µΩcm und bei AgPd mit einer Zusammensetzung von 70 zu 30 Massenprozent bei 15 µΩcm liegt. Insofern muß der spezifische elektrische Widerstand des Gemischtleiters zumindest kleiner als 1 · 10⁻³ Ωcm sein und insbesondere im Bereich von 1 · 10⁻⁶ Ωcm bis 5 · 10⁻⁴ Ωcm liegen.

Zur Herstellung des Keramikkörpers 5 werden zunächst in an sich bekannter Weise keramische Grünfolien hergestellt, die die späteren Isolierschichten 12 bilden sollen. Diese werden dann bereichsweise, entsprechend in der in der Figur dargestellten Weise, einseitig mit einer weiteren Folie versehen, die eine spätere Innenelektrode 13, 14 bilden soll.

Alternativ kann das die späteren Innenelektroden bildende Material jedoch auch mittels Siebdruck bereichsweise auf die keramischen Grünfolien gedruckt werden. Anschließend werden diese Grünfolienpaare bzw. die bedruckten Grünfolien dann derart abwechselnd um 180° gegeneinander gedreht gestapelt, so daß eine periodische Abfolge von Isolierschicht 12, erste Innenelektrode 13, Isolierschicht 12, zweite Innenelektrode 14, Isolierschicht 12, erste Innenelektrode 13 usw. entsteht. Schließlich wird der derart erhaltene Grünkörper in einer Matrize gepreßt bzw. laminiert und anschließend bei Temperaturen zwischen 1000°C und 1200°C gesintert, so daß der Keramikkörper 5 entsteht.

Nach dem Sintern wird der erhaltene Keramikkörper 5 üblicherweise außen geschliffen und danach auf zwei gegenüberliegenden Stirnflächen des Keramikkörpers 5 mit den Außenelektroden 10, 11 kontaktiert. Aufgrund der abwechselnd jeweils nicht bis zu den Stirnseiten des Keramikkörpers 5 reichenden Innenelektroden kontaktiert somit die erste Außenelektrode 10 lediglich die ersten Innenelektroden 13 und die zweite Außenelektrode 11 lediglich die zweiten Innenelektroden 14. Weitere Details dazu sind beispielsweise in K. Ruschmeyer, "Piezokeramik: Grundlagen, Werkstoff, Applikationen", expert-Verlag, Renningen, 1995, Seite 79, beschrieben.

(12) mit einem piezoaktiven keramischen Material, die zumindest bereichsweise durch Innenelektroden (13, 14) voneinander getrennt sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Innenelektroden (13, 14) ein gemischtleitendes Material enthalten.

2. Piezoelektrischer Keramikkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das gemischtleitende Material ein keramisches Material ist.

3. Piezoelektrischer Keramikkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das gemischtleitende Material zumindest oberhalb Temperaturen von 25°C eine zumindest weitgehend metallische Leitfähigkeit aufweist.

4. Piezoelektrischer Keramikkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sintertemperatur des gemischtleitenden Materials zwischen 1000°C und 1200°C liegt.

5. Piezoelektrischer Keramikkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolierschichten (12) aus einer PZT-Keramik, insbesondere aus Pb(Ti_xZr_y)O₃ mit 0,40 < x < 0,60, bestehen.

6. Piezoelektrischer Keramikkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das gemischtleitende Material beim Sintern gegenüber dem Material der Isolierschichten (12) phasenstabil ist.

7. Piezoelektrischer Keramikkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der Isolierschichten (12) beim Sintern gegenüber dem gemischtleitenden Material phasenstabil ist.

8. Piezoelektrischer Keramikkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das gemischtleitende Material ein perowskitisches keramisches Material oder ein fluorit-basiertes keramisches Material enthält.

9. Piezoelektrischer Keramikkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der spezifische elektrische Widerstand des gemischtleitenden Materials kleiner als 1 · 10⁻³ Ωcm ist.

10. Piezoelektrischer Keramikkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das gemischtleitende Material SrFeCo_{0,5}O_x, La_{1-x}Sr_xCo_{1-y}Cu_yO_{3-d} mit 0 < x < 1 und 0 < y < 1 oder La_{1-x}Ca_xCoO_{3-δ}, SrCeO₃, LaCr_{1-x}Mg_xO₃, La_{1-x}Sr_xMnO₃ oder LaNi_{1-x}Ca_xO₃ enthält.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

Bezugszeichenliste

- 5 Keramikkörper
- 10 erste Außenelektrode
- 11 zweite Außenelektrode
- 12 Isolierschicht
- 13 erste Innenelektrode
- 14 zweite Innenelektrode

Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Keramikkörper mit einer Mehrzahl von übereinander angeordneten Isolierschichten

